

Методика синтеза бинарной диагностической модели контрольно-проверочной аппаратуры системы управления беспилотного летательного аппарата

Д.В. Морозов,
асп., i_am_morozov@mail.ru,
КНИТУ – КАИ, г. Казань

Разработана методика синтеза бинарной диагностической модели контрольно-проверочной аппаратуры системы управления беспилотного летательного аппарата, которая состоит из двух этапов. Поставлена и решена задача первого этапа, которая заключается в построении первичных таблиц. Для этого необходимо с помощью принципиальных электрических схем или известных диагностических моделей и алгоритмов работы системы построить первичные таблицы, позволяющие сопоставить сигналы управления и функциональные элементы, участвующие в программе полета системы управления беспилотного летательного аппарата, т.е. построить бинарные отношения. Второй этап состоит в построении табличной бинарной диагностической модели. Для его решения предложен метод синтеза, основанный на реализации метода ветвей и границ и применении оценки связности снизу.

A method has been developed for synthesizing a binary diagnostic model of the test equipment of a control system of an unmanned aerial vehicle, which consists of two stages. The problem of the first stage has been posed and solved, which consists in the construction of primary tables. For this, it is necessary to build binary relations using theoretical and algorithmic solutions that can be used to ensure security. The second stage consists in building a tabular binary diagnostic model. To solve it, the proposed synthesis method based on the re-bespoke bottom method.

Введение

Существующие диагностические модели разработаны для определенных целей - поиска отказавшего элемента, замены и обладают рядом существенных недостатков, общими из которых являются:

- не позволяют решить задачу изменения алгоритма функционирования КПА при возникновении отказа;
- глубина поиска отказа определяется уровнем ремонта;
- не позволяют оптимизировать глубину самоконтроля КПА;
- сложность и трудоёмкость в практическом использовании.

Методика синтеза бинарной диагностической модели контрольно-проверочной аппаратуры (БДМ КПА) уровня элементарных операций (ЭО) обеспечивает формирование множеств элементарных операций (\mathbf{L}) и комбинаторных элементов (\mathbf{B}), т.е. задание исходных данных для построения БДМ, отвечающих реальным физическим процессам функционирования КПА.

Она содержит два этапа:

- построение первичных таблиц (ПТ) КПА;
- синтез ПТ в БДМ КПА первого уровня.

Из [1,2] следует, что составляющей компонентой элементарных операций (ЭО) является действие (совокупность действий) т.е. $\partial_i, i=1, r$. Следовательно, имея пронумерованные конечные множества

$$\mathbf{D} = \{\partial_1, \dots, \partial_i, \dots, \partial_r\} \text{ и } \Theta = \{\vartheta_1, \dots, \vartheta_j, \dots, \vartheta_k\},$$

где $\{\vartheta_j\}, j=1, k$ множество элементов КПА, реализующих действия (сигналы), можно определить функцию β в виде:

$$\mathbf{D} \xrightarrow{\beta} \Theta. \quad (1)$$

Таким образом, функцию β можно характеризовать как связность между элементами пар (∂, ϑ) . Если упорядоченные пары (∂, ϑ) представить как точки плоскости $(\partial, \vartheta) \in \mathbf{D} \times \Theta$, а их первые и вторые элементы соответственно как абсциссы и ординаты, то функция β будет интерпретироваться своим графиком, который символически записывается

$$\Pi(\beta) = \{(\partial, \vartheta) \mid \partial \beta \vartheta\}, \quad (2)$$

и определение функции β сводится к заданию списка предписаний между парами (∂, ϑ) , элементы которых являются исходными данными на первом этапе синтеза. Поэтому для построения ПТ КПА необходима принципиальная электрическая схема КПА и алгоритм (программа) её работы.

1. Построение первичных таблиц контрольно-проверочной аппаратуры

Задачу первого этапа можно сформулировать следующим образом: имеется принципиальная электрическая схема КПА и алгоритм (программа) её работы, где $\{\vartheta_j\}, j=1, k$ элементы анализируемой схемы, а $\partial_i, i=1, r$ сигналы

Решение этой задачи, причем функция β всюду определена, проводится в последовательности: первоначально следует определить эквивалентные друг другу действия, элементы КПА и после этого склеить все эквивалентные действия и эквивалентные элементы КПА в одно (минимизация количества строк и столбцов).

θ	ϑ_1	ϑ_2	ϑ_3	ϑ_4	ϑ_5	ϑ_6	...	ϑ_j	...	ϑ_k
∂_1	1	0	1	0	0	1	...	0	...	1
∂_2	1	1	0	0	0	0	...	1	...	1
∂_3	0	1	1	0	0	0	...	1	...	0
∂_4	0	0	0	1	0	0	...	0	...	0
\vdots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	...	\ddots	...	\ddots
∂_i	0	0	1	0	0	0	...	0	...	0
\vdots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	\ddots	...	\ddots
∂_r	1	0	1	0	0	0	...	0	...	0

рис. 1 Первичная таблица (пример)

1. Определение. Действия ∂_i и ∂_j называются эквивалентными, если для всякой строки $\partial \in D$ имеем

$$\beta(\partial_i, \vartheta) = \beta(\partial_j, \vartheta), \tag{4}$$

для всех ϑ .

Эквивалентность действий запишем в виде $\partial_i E \partial_j$ или $(\partial_i, \partial_j) \in T(E)$. Заметим, что E - действительно отношение эквивалентности.

2. Определение. Элементы КПА ϑ_i и ϑ_j называются эквивалентными, если для всякого столбца $\vartheta \in \theta$ имеем

$$\beta(\partial, \vartheta_i) = \beta(\partial, \vartheta_j), \tag{5}$$

для всех ∂ .

Эквивалентность элементов КПА запишем в виде $\vartheta_i E \vartheta_j$ или $(\vartheta_i, \vartheta_j) \in \Gamma(E)$.

При построении ПТ КПА использовалось бинарное отношение β между D и θ . Отрицание β отношения β также является бинарным отношением между D и θ .

В этом случае $(\partial_i, \partial_j) \notin T(E)$, т.е. $\partial_i E' \partial_j$ для строк действий и $(\vartheta_i, \vartheta_j) \notin \Gamma(E)$, $\vartheta_i E' \vartheta_j$ для столбцов элементов КПА, соответственно, где E' - отношение неэквивалентности для строк и столбцов.

График отношения эквивалентности для строк действий имеет вид $T(E) \cup T(E') = D \times D$, а для столбцов элементов КПА $\Gamma(E) \cup \Gamma(E') = \theta \times \theta$.

Для определения неэквивалентных друг другу действий, элементов КПА определим две новые функции β^* и β^{**} соответственно.

3. Определение. Положим $\beta^*: D^r \rightarrow \theta^k$: $\beta^*(\partial, \vartheta) = \beta(\dots(\beta(\beta(\partial_1, \vartheta_1), \vartheta_2), \dots), \vartheta_k)$.

Это означает, что $\beta^*(\partial, \vartheta)$ есть последнее значение бинарного отношения между действием (строкой) и всеми элементами КПА (столбцами) в ПТ

$$\beta^{**}: D^r \rightarrow \theta^k: \beta^{**}(\partial, \vartheta) = \beta(\dots(\beta(\beta(\partial_1, \vartheta_1), \vartheta_2), \dots), \vartheta_r).$$

Здесь $\beta^{**}(\partial, \vartheta)$ есть последнее значение бинарного отношения между всеми действиями (строками) и элементом КПА (столбцом) в ПТ.

1. Теорема. Если элементы КПА $\vartheta_i E' \vartheta_j$, то либо $\vartheta_i E' \vartheta_j$ либо для подходящего действия $\partial = (\partial_1, \dots, \partial_i, \dots, \partial_r)$ имеем $\beta^{**}(\partial, \vartheta_i) E' \beta^{**}(\partial, \vartheta_j)$.

Доказательство.

Утверждение $\vartheta_i E' \vartheta_j$ означает, что $\beta^{**}(\partial, \vartheta_i) \neq \beta^{**}(\partial, \vartheta_j)$, т.е. значения бинарных отношений в i -м и j -м столбцах различны для подходящей строки действий. В процессе просмотра строк укоротим строки действий ∂ так, чтобы значения бинарных отношений для элементов КПА ϑ_i и ϑ_j отличались только в последних строках. Если после этого $r = 1$, т.е. различие в первой строке то, очевидно, что $\vartheta_i E' \vartheta_j$. Если же $r > 1$, то $\vartheta_i E' \vartheta_j$, но $\vartheta_i E_m' \vartheta_j$ при $m < r$. Таким образом, элементы КПА ϑ_i и ϑ_j не эквиваленты, если для одной из строк действий значения бинарных отношений различны.

Аналогичную теорему можно доказать и для $\beta^*(\partial, \vartheta)$.

Склеивание строк ПТ представляет собой процедуру формирования L , а столбцов - \mathfrak{B} БДМ КПА. Процедура формирования L и \mathfrak{B} основана на рассмотрении отношений эквивалентности между парами строк действия, столбцов элементов КПА путем их перебора. В этом случае, например, при формировании L методом полного перебора строк действий ПТ КПА, необходимо рассмотреть

$$h(\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n) = \binom{r}{\ell_1} \binom{r-\ell_1}{\ell_2} \dots \binom{r-\ell_1-\dots-\ell_{n-2}}{\ell_{n-1}}$$

вариантов, если все строки разные.

Поэтому решать поставленную задачу методом полного перебора весьма затруднительно. Для сокращения количества переборов и их упорядочения предлагается способ, который основан на методе ветвей и границ и применении оценки связности (количеств, значений бинарных отношений) снизу. Идея сокращения и упорядочения перебора заключается в том, что первоначально производится разбиение множества $D(\theta)$ на классы, определяемые количеством единиц в строках (для D) и в столбцах (для θ) и минимизация строк действий (столбцов элементов) внутри каждого класса (формирование $L(\mathfrak{F})$). Рассмотрим процедуру формирования L .

Зафиксируем столбцы $\vartheta_j, j=1, k$ ПТ КПА и проведём разбиение множества D на классы. В качестве критерия оптимистической оценки нижней границы выберем количество значений бинарных отношений β в строках действий

$(N_{\beta i}, i=1, k)$, т.е. каждый класс будет характеризоваться своим количеством единиц в строках. Полученные таким образом подмножества D_i назовём классами разбиений С'ПТ КПА. В этом случае каждый C^i класс имеет свою нижнюю границу. В общем случае $i=1, k$. Из общего числа строк ПТ КПА выбираются строки действий, у которых $N_{\beta 1} = \min$, т.е. с минимальной связностью. Подмножества этих строк составят элементы класса C^1 , т.е. $C^1 = \{\vartheta_j\}$.

При образовании C^2 , нижняя граница этого класса должна соответствовать условию $N_{\beta 1} < N_{\beta 2}$. Перед переходом к формированию каждого последующего класса проводится назначение нижней границы из условия $N_{\beta i-1} < N_{\beta i}$. Последнему классу разбиений будет соответствовать условие $N_{\beta k} = \max$. Для общего случая $N_{\beta k} = k$.

Определив классы разбиений, переходим непосредственно к рассмотрению отношения эквивалентности между парами строк действий соответствующего класса и последующему их склеиванию.

В классе C^1 для первой строки ϑ_1 определить т.е. элементы ϑ_j , где функция β принимает значение 1. Используя теорему 1 и определение 2, просматриваем подмножество строк $\{\vartheta_j\} \in C^1$. Определив эквивалентные для первой строки другие строки, склеиваем их, получая $\ell_1 = \{\vartheta_1, \dots, \vartheta_j\}$. Если эквивалентных строк нет, то $\ell_1 = \vartheta_1$. Аналогично формируем ℓ_i для C^1, C^2, \dots, C^k .

Полученная таблица называется таблицей элементарных операций (ТЭО). Из самой процедуры построения ТЭО следует, что она является покрытием (эквивалентом) ПТ по строкам.

Процедура формирования КПЭ КПА осуществляется после построения ТЭО и аналогична процессу формирования L . В этом случае фиксируются строки ТЭО, и формирование \mathfrak{F} осуществляется из столбцов - элементов ϑ_j КПА. Построение БДМ КПА заканчивается формированием \mathfrak{F} КПА. Полученная таблица является покрытием ПТ КПА, а если в процессе построения не производится минимизации строк и столбцов - то эквивалентна ПТ КПА.

Алгоритм построения БДМ, реализующий данную методику, приведен на рисунке 2. Программа синтеза БДМ, выполнена на С#. Работа программы синтеза БДМ проверена на примере, где ПТ КПА имеет $r = 50$ и $k = 93$.

Заключение

1. Существующие диагностические модели разработаны для определенных целей - поиска отказавшего элемента, замены и обладают рядом существенных недостатков, общими из которых являются:

- не позволяют решить задачу изменения алгоритма функционирования КПА при возникновении отказа;
- глубина поиска отказа определяется уровнем ремонта;
- не позволяют оптимизировать глубину самоконтроля КПА;
- сложность и трудоемкость в практическом использовании.

2. БДМ уровня ЭО позволяет провести анализ качества функциональных элементов подсистем КПА, решить задачу инженерного синтеза СУ и осуществить принцип изменения алгоритма работы КПА при различных концепциях ее рационального поведения (пригодности, оптимизации, адаптации).

БДМ уровня ЭО позволяет осуществить процесс поиска отказа в КПА, разработать алгоритм использования БЛА с отказами в КПА, оптимизировать по выбранным критериям процесс выбора очередной проверки при самоконтроле КПА.

Методика синтеза БДМ уровня ЭО обеспечивает формирование множеств L и B , т.е. задание исходных данных для построения табличной БДМ, отвечающих реальным физическим процессам функционирования КПА. Она содержит два этапа:

- построение первичных таблиц КПА;
- синтез первичных таблиц в БДМ КПА уровня ЭО.

Сформулирована и решена задача первого этапа. Для ее решения могут использоваться технические описания, электрические схемы и инструкции по эксплуатации, а также известные диагностические модели.

Разработанные методики задания списка предписаний с помощью таблиц состояний и ФЛС позволяют решить задачу первого этапа.

Сформулирована и решена задача второго этапа.

Для ее решения предложен метод синтеза, основанный на реализации метода ветвей и границ и применении оценки связности снизу. Идея сокращения и упорядочения перебора заключается в том, что первоначально производится разбиение множества $D(\theta)$ на классы, определяемые количеством единиц в строках (для D) и в столбцах (для θ), минимизация строк действий (столбцов элементов) внутри каждого класса (формирование $L(B)$).

Разработан алгоритм построения БДМ, который доведен до рабочих машинных программ на языке программирования С#. Работоспособность и результативность алгоритма проверена построением БДМ гипотетической КПА на ПЭВМ.

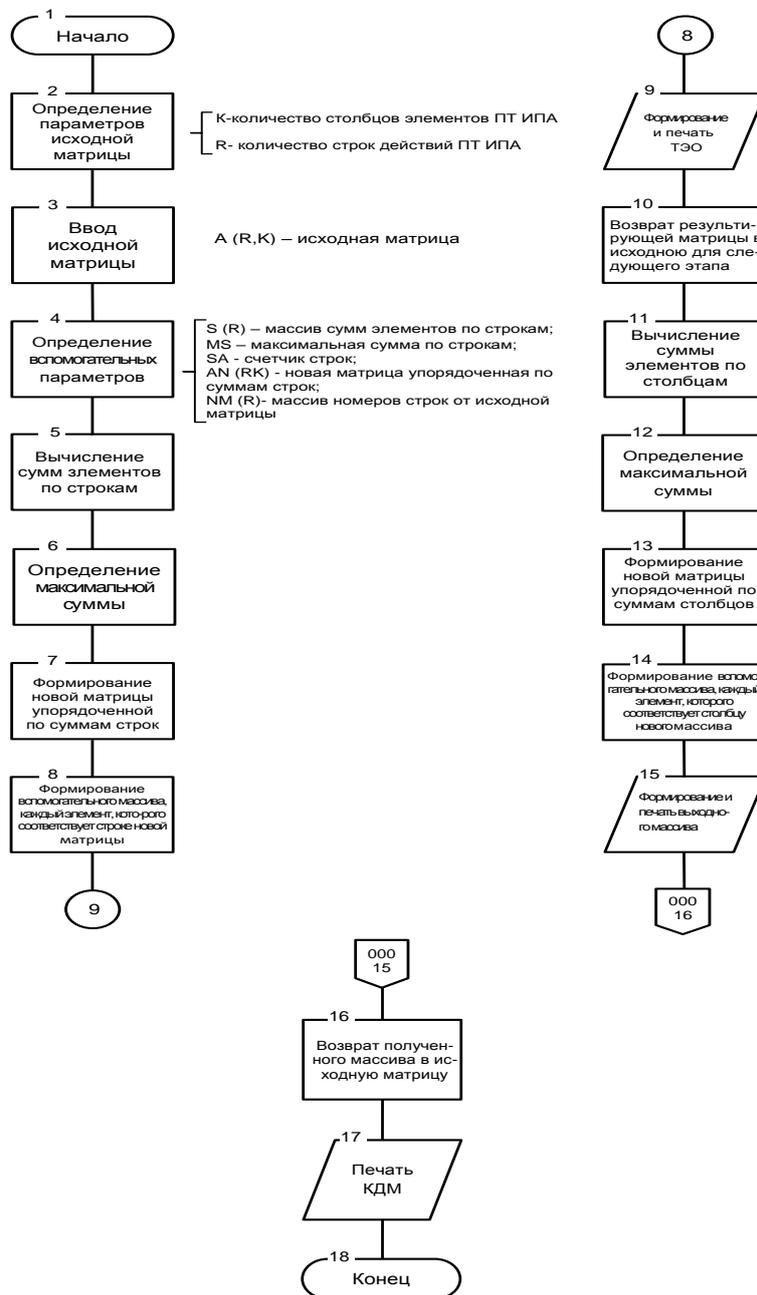


рис. 2 – Блок-сема алгоритма построения БДМ

Литература

1. Морозов Д.В. Бинарная иерархическая модель системы управления беспилотного летательного аппарата // Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами: тезисы докладов IV Всероссийской научно-технической конференции. (Москва, 31 октября – 2 ноября 2017 г.) – М.: МОКБ «Марс», 2017. – С.132–133.
2. Морозов Д.В. Методика повышения надежности функционирования системы управления летательного аппарата // V Международная научно-практическая конференция ITS Forum-Kazan «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы и ситуационные центры». 27–28 февраля 2018 г - С.123-138.
3. Шило В.Н. Исследование проблемы повышения эффективности информационного взаимодействия в войсковых системах "источник информации - адресат", - Дис... док.техн. наук. - Казань, 1976. - 333 с.